



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta přírodovědně-humanitní
a pedagogická



PRAVDĚPODOBNOSTNÍ ROZDĚLENÍ KRÁTKODOBÝCH SRÁŽKOVÝCH EXTRÉMŮ

Diplomová práce

Studijní program: N1101 – Matematika
Studijní obory: 7503T114 – Učitelství zeměpisu pro 2. stupeň základních škol
7504T089 – Učitelství matematiky pro střední školy
Autor práce: **Bc. Václav Bendl**
Vedoucí práce: RNDr. Jan Kyselý, Ph.D.





PROBABILITY DISTRIBUTIONS OF SHORT-TERM PRECIPITATION EXTREMES

Diploma thesis

Study programme: N1101 – Mathematics

Study branches: 7503T114 – Teacher training for lower-secondary school. Subject - Geography
7504T089 – Teacher Training for Upper Secondary Schools - Mathematics

Author: **Bc. Václav Bendl**

Supervisor: RNDr. Jan Kyselý, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Václav Bendl
Osobní číslo: P12000762
Studijní program: N1101 Matematika
Studijní obory: Učitelství matematiky pro střední školy
Učitelství zeměpisu pro 2. stupeň základních škol
Název tématu: Pravděpodobnostní rozdělení krátkodobých srážkových extrémů
Zadávající katedra: Katedra aplikované matematiky

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je analyzovat pravděpodobnostní rozdělení ročních maxim krátkodobých úhrnů atmosférických srážek na vybraných stanicích v ČR, pro něž jsou dostupné nově připravené datové soubory kombinující údaje ze starších měření pomocí ombrografů a novějších měření z automatických stanic. Konkrétní úkoly řešené v rámci práce jsou (i) odhadnout parametry rozdělení krátkodobých srážkových extrémů a kvantily odpovídající 10-letým a 50-letým hodnotám na vybraných stanicích, (ii) vyhodnotit neurčitosti odhadů pomocí intervalů spolehlivosti, (iii) srovnat charakteristiky pravděpodobnostních rozdělení pro různá trvání srážkových extrémů, a to od 30 minut do 24 hodin, a (iv) srovnat charakteristiky rozdělení srážkových extrémů mezi vybranými stanicemi.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: cca 70 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

1. Coles S., 2001: An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values. Springer Verlag.
2. Kyselý J. - Gaál L. - Picek J., 2011: Comparison of regional and at-site approaches to modelling probabilities of heavy precipitation. International Journal of Climatology, 31, 1457-1472 [doi 10.1002/joc.2182].
3. Kyselý J. - Picek J., 2007: Regional growth curves and improved design value estimates of extreme precipitation events in the Czech Republic. Climate Research, 33, 243-255.
4. Štekl J. - Brázdil R. - Kakos V. - Jež J. - Tolasz R. - Sokol Z., 2001: Extreme daily precipitation on the territory of the Czech Republic in the period 1879-2000 and their synoptic causes. National Climatic Programme of the Czech Republic, 31, 140 pp.

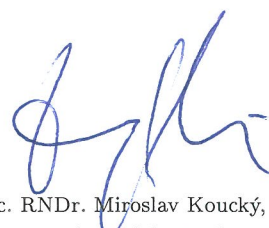
Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jan Kyselý, Ph.D.
Katedra aplikované matematiky

Datum zadání diplomové práce: 26. dubna 2013
Termín odevzdání diplomové práce: 25. dubna 2014



doc. RNDr. Miroslav Brzezina, CSc.
děkan

L.S.



doc. RNDr. Miroslav Koucký, CSc.
vedoucí katedry

dne 18. 6. 2013

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Mé poděkování patří RNDr. Janu Kyselému, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnoval.

Anotace

Potřeba kvalitních odhadů pravděpodobnosti extrémních srážkových úhrnů nabývá v posledních letech na důležitosti vzhledem ke katastrofickým povodním, které od druhé poloviny 90. let minulého století již několikrát postihly region střední Evropy. Jejich využití při hydrologickém modelování může reálně pomoci při ochraně zdraví a majetku lidí. Tato práce využívá dat s krátkodobými časovými agregacemi srážkových úhrnů, začínajícími již na délce 30 minut, z 54 hydrometeorologických stanic z celé České republiky a snaží se navrhnout vhodnou metodu odhadu pravděpodobnosti pro takto krátké časové úseky pomocí srovnání metody maximální věrohodnosti a L-momentů.

Klíčová slova: extrémní srážky, frekvenční analýza, rozdělení extrémních hodnot, metoda maximální věrohodnosti, L-momenty

Annotation

Estimation of probabilities of extreme precipitation amounts and design precipitation has become more important in the recent years due to the catastrophic floods that have repeatedly affected Central Europe since the second half of the 1990s. Their utilization in hydrological modelling can help protect health and property. This thesis deals with short-term aggregations of rainfall, starting already at 30 minutes, at 54 hydrometeorological stations from all over the Czech Republic. It attempts to propose an applicable method for estimating the probability for distribution of precipitation extreme by comparing the method of maximum-likelihood estimation and L-moments method.

Keywords: extreme precipitation, frequency analysis, generalized extreme value distribution, maximum-likelihood estimation, L-moments

Obsah

Anotace.....	6
Annotation.....	7
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	10
1 Úvod.....	12
2 Statistické zpracování dat.....	14
2.1 Distribuční funkce náhodné proměnné.....	14
2.2 Zobecněné rozdělení extrémních hodnot.....	15
2.3 Odhad parametrů distribuční funkce.....	17
2.3.1 Metoda maximální věrohodnosti.....	17
2.3.2 L-momenty.....	18
2.4 Bootstrap.....	19
3 Klimatická charakteristika ČR.....	21
3.1 Poloha a fyzicko-geografická charakteristika ČR.....	21
3.2 Klima v České republice.....	22
4 Srážky.....	24
4.1 Rozložení srážek během roku.....	25
5 Meteorologické měření na území ČR.....	26
5.1 Historie měření.....	26
5.2 Způsoby měření srážek na území ČR.....	27
6 Data.....	29
7 Sestavení výzkumných otázek a diskuse nad výsledky.....	31
7.1 Výzkumná otázka 1.....	32
7.2 Výzkumná otázka 2.....	36
7.3 Výzkumná otázka 3.....	41
8 Představení výsledků na příkladu stanice Liberec.....	45
8.1 Parametr tvaru pro stanici Liberec.....	46
8.2 Odhady návrhových srážek pro stanici Liberec.....	47
10 Závěr.....	50
Seznam použitých zdrojů.....	51
Přílohy.....	54

Seznam tabulek a grafů

Graf 2.1; Příklad tvaru křivky hustoty pravděpodobnosti distribuční funkce GEV rozdělení; stanice Vyšší Brod, agregace 6H, metoda LMOM.....	16
Tabulka 6.1; Souhrnné informace o vstupních datech.....	30
Graf 7.1; Vliv délky agregace na hodnotu parametru tvaru, vypočteno za použití aritmetického průměru.....	32
Graf 7.2; Vliv délky agregace na hodnotu parametru tvaru, vypočteno za použití mediánu.....	33
Graf 7.3; Histogram procentuálního zastoupení stanic pro určité intervaly hodnot parametru tvaru, pro agregaci 30MIN.....	34
Graf 7.4; Histogram procentuálního zastoupení stanic pro určité intervaly hodnot parametru tvaru, pro agregaci 3H.....	34
Graf 7.5; Histogram procentuálního zastoupení stanic pro určité intervaly hodnot parametru tvaru, pro agregaci 24H.....	35
Graf 7.6; Histogram procentuálního zastoupení stanic s počtem let nižším než 25 pro určité intervaly hodnoty parametru tvaru, pro agregaci 30M.....	36
Graf 7.7; Histogram procentuálního zastoupení stanic s počtem let nižším než 25 pro určité intervaly hodnoty parametru tvaru, pro agregaci 3H.....	37
Graf 7.8; Histogram procentuálního zastoupení stanic s počtem let nižším než 25 pro určité intervaly hodnoty parametru tvaru, pro agregaci 24H	38
Graf 7.9; Histogram procentuálního zastoupení stanic s počtem let od 25 do 40 pro určité intervaly hodnoty parametru tvaru, pro agregaci 30M.....	39
Tabulka 7.1; Rozptyly odhadů parametru tvaru vypočítaného metodou MLE pro stanice rozdělené podle počtu let měření.....	40
Tabulka 7.2; Rozptyly odhadů parametru tvaru vypočítaného metodou LMOM pro stanice rozdělené podle počtu let měření.....	40
Graf 7.10; Graf závislosti šířky 95% intervalu spolehlivosti odhadu parametru tvaru na délce časové řady; počítáno přes aritmetický průměr, pro metodu MLE	41

Graf 7.11; Graf závislosti šířky 95% intervalu spolehlivosti odhadu parametru tvaru na délce časové řady; počítáno přes aritmetický průměr, pro metodu LMOM.....	42
Graf 7.12; Graf závislosti šířky 95% intervalu spolehlivosti odhadu parametru tvaru na délce časové řady; počítáno přes medián, pro metodu MLE.....	43
Graf 7.13; Graf závislosti šířky 95% intervalu spolehlivosti odhadu parametru tvaru na délce časové řady; počítáno přes medián, pro metodu LMOM.....	43
Tabulka 8.1; Nejvyšší srážkové úhrny pro stanici Liberec.....	45
Graf 8.1; Graf hodnot parametru tvaru vypočítaného metodou MLE včetně 95% intervalu spolehlivosti (šedá oblast) pro stanici Liberec.....	46
Graf 8.2; Graf hodnot parametru tvaru vypočítaného metodou LMOM včetně 95% intervalu spolehlivosti (šedá oblast) pro stanici Liberec.....	46
Tabulka 8.2; Tabulka hodnot parametrů tvaru pro stanici Liberec.....	47
Graf 8.3; Graf návrhových srážek pro stanici Liberec vypočítaných pomocí metody MLE.....	48
Graf 8.4; Graf návrhových srážek pro stanici Liberec vypočítaných pomocí metody LMOM.....	48
Tabulka 9.1; Procentuální zastoupení výskytu paradoxních jevů pro stanice s různým počtem let měření.....	49

Seznam použitých zkratk a symbolů

C	Celsius (jednotka teploty)
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
GEV	zobecněné rozdělení extrémních hodnot
H	hodina
ha	hektar (jednotka plochy)
k	parametr tvaru
km	kilometr (jednotka délky)
l	odhad L-momentu
LMOM	L-momentová metoda
M	minuta
m	metr (jednotka délky)
MLE	metoda maximální věrohodnosti
mm	milimetr (jednotka délky)
t	tuna (jednotka hmotnosti)
T	doba opakování
R	návrhová srážka
X	náhodná veličina
β	parametr měřítka
ξ	parametr polohy
λ	L-moment

1 Úvod

Povodně, které jsou hlavním projevem extrémních srážek, patří v oblasti střední Evropy mezi největší přírodní katastrofy posledních několika desetiletí. Z hlediska hospodářských ztrát jsou dokonce na prvním místě. V letech 2003 až 2009 činila ekonomická ztráta z nejvýznamnějších povodní 17 miliard Euro (pro státy EU a Turecka) [1]. Na území České republiky jsme se setkali v posledních letech s povodněmi, které byly způsobeny jak extrémními srážkami, které postihují plošně velké území a trvají několik dní (např. povodně v červenci 1997 na Moravě a ve Slezsku a v srpnu 2002 v Čechách), tak i s takzvanými bleskovými povodněmi, které jsou způsobeny nadměrnými úhrny za krátký časový interval, zpravidla kratší než 6 hodin, a postihující menší území (např. v červenci 1998 v podhůří Orlických hor nebo v červnu a červenci 2009 na více místech ČR). Zdá se tedy být zřejmé, že témata spojená s výzkumem srážkových extrémů nabírají stále na důležitosti a aktuálnosti.

Práce čerpá z nejnovějších dat, která byla získána kombinací rekonstruovaného ombrografického měření a měření automatických srážkoměrných stanic. Celkem jsou k dispozici vyhovující údaje z 54 míst České republiky s nejdelší použitelnou časovou řadou 88 let (Tábor, ombrografické měření 1921–1996, automatické měření 1999–2011) a s dalšími čtyřmi řadami delšími než 50 let (stanice Svratouch, Doksany, Velké Meziříčí a Červená). Starší data obsahovala srážkové úhrny pro intervaly v řádech hodin (nejčastěji 6 hodin a více), zde se ovšem setkáváme již s intervalem 30-minutovým, což otevírá zcela nové možnosti a vede k pestřejší interpretaci a využitelnosti výsledků. Další intervaly, které jsou v práci zpracovány, mají délku 1, 2, 3, 6, 12 a 24 hodin.

Úkolem práce je odhadnout parametry rozdělení krátkodobých srážkových extrémů s využitím dvou metod výpočtu, pomocí kterých se budou moci

následně odhadnout kvantily, odpovídající 10-letým až 100-letým hodnotám na vybraných stanicích (pro laickou veřejnost často uváděno jako „10-leté až 100-leté srážky“, tedy odhad jakých maximálních úhrnů bychom se měli v průměru v daném časovém horizontu na určitém místě dočkat). Těchto výpočtů se dá nadále využít v mnoha odvětvích lidské činnosti. Například vodohospodářské stavby se dříve na našem území dimenzovaly pro srážky odpovídající 150-leté návrhové hodnotě. Až výše popsané extrémní srážky, které tyto hodnoty výrazně překročily na více místech, a následně povodně donutily tuto hodnotu revidovat. Pro takto krátké intervaly srážek (30 minut) mají výpočty využití při prevenci bleskových povodní a mohou pomoci při ochraně zdraví a majetku občanů [2].

2 Statistické zpracování dat

Tato kapitola se věnuje teorii matematické statistiky, která byla využita k výpočtu dále popsaných výsledků. Volba konkrétního rozdělení pravděpodobnosti i metod odhadů parametrů distribuční funkce byla dána vedoucím práce a je v souladu s nejčastěji používanými postupy pro modelování srážek [4].

2.1 Distribuční funkce náhodné proměnné

Definice 2.1.1: **Náhodná proměnná X** je reálná funkce definovaná na množině všech elementárních jevů, která každému jevu přiřadí reálné číslo.

Definice 2.1.2: **Pravděpodobnostní funkcí náhodné proměnné X** nazýváme funkci $p(x) = P(X = x)$.

Definice 2.1.3: Reálná funkce, která přiřazuje každé hodnotě x_i náhodné proměnné X pravděpodobnost, že X nabude hodnoty menší než toto x_i , se nazývá **distribuční funkce $F(x)$** . Je definována vztahem:

$$F(x) = P(X < x) = \sum_{x_i < x} P(X = x_i).$$

Definice 2.1.4: **Hustota pravděpodobnosti náhodné proměnné X** definované na intervalu $\langle a, b \rangle$ je nezáporná, reálná funkce definovaná vztahem:

$$f(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{P(x \leq X < x+h)}{h}, \text{ kde pro } x \notin \langle a, b \rangle \text{ je } f(x) = 0; \quad x, x+h \in \langle a, b \rangle.$$

Definice 2.1.5: Necht' $F(x)$ je distribuční funkce spojité náhodné veličiny X . Pak hodnota x_p , pro kterou platí $F(x_p) = p$, kde $p \in \langle 0, 1 \rangle$, se nazývá **p -kvantil** [3].

2.2 Zobecněné rozdělení extrémních hodnot

Pro potřeby analýz pravděpodobnosti srážkových úhrnů se využívá mnoho typů distribučních funkcí, která se liší svými vlastnostmi. Hlavním hlediskem kategorizace bývá počet parametrů rozdělení. Mezi nepoužívanější se řadí tato rozdělení:

2-parametrické: exponenciální nebo Gumbelovo rozdělení

3-parametrické: generalizované (zobecněné) logistické rozdělení nebo v práci použité zobecněné rozdělení extrémních hodnot (GEV)

4-parametrické: kappa rozdělení

5-parametrické: Wakebyho rozdělení [4].

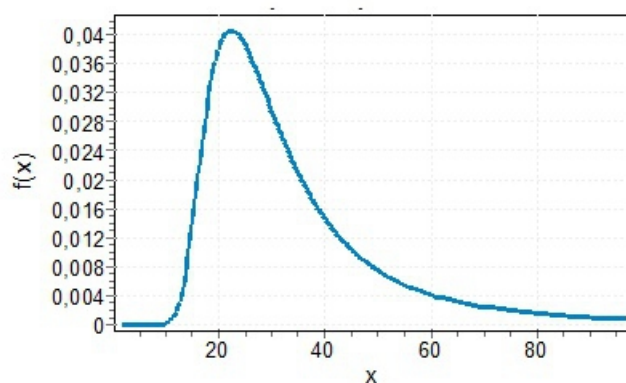
Jak bylo již výše uvedeno, práce využívá zobecněné rozdělení extrémních hodnot. Toto tříparametrické rozdělení (parametr polohy ξ , parametr měřítka β a parametr tvaru k), které je zpravidla označováno anglickou zkratkou GEV (Generalized Extreme Value distribution), je dáno distribuční funkcí:

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 - k \left(\frac{x - \xi}{\beta} \right) \right]^{1/k} \right\}, \quad x < \xi + \frac{\beta}{k}, \quad k > 0$$

$$F(x) = \exp \left\{ - \exp \left(- \frac{x - \xi}{\beta} \right) \right\}, \quad k = 0$$

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 - k \left(\frac{x - \xi}{\beta} \right) \right]^{1/k} \right\}, \quad x > \xi + \frac{\beta}{k}, \quad k < 0.$$

Poznámka: Uvedená vyjádření jsou pro maximální hodnoty. [5], [6]



Graf 2.1; Příklad tvaru křivky hustoty pravděpodobnosti distribuční funkce GEV rozdělení; stanice Vyšší Brod, agregace 6H, metoda LMOM (parametr tvaru: 0,37181; parametr měřítka: 9,623 mm a parametr polohy: 25,333 mm)

2.2.1. Aplikace GEV rozdělení pro tvorbu návrhových srážek

Úlohou frekvenční analýzy extrémních srážkových úhrnů je odhadnout velikost srážkového úhrnu určitého trvání, který lze pozorovat na určité stanici s danou pravděpodobností. Doba opakování T udává počet roků, během kterých průměrně jednou dosáhne srážkový úhrn dané velikosti, kterou označujeme R_T a nazýváme T -roční návrhová srážka. Pravděpodobnost překročení P je poměr dosažení daného srážkového úhrnu R k počtu roků pozorování:

$$P(R > R_T) = \frac{1}{T} \quad [4].$$

2.3 Odhad parametrů distribuční funkce

Volbě vhodné metody odhadu parametrů (spolu ve spojení s odpovídající distribuční funkcí) se věnuje velké množství publikací a odborných článků, ze kterých vyplývá, že není k dispozici takový ideální model, který by plně vyhovoval všem případům a je třeba se vždy přizpůsobit vlastnostem analyzovaného výběrového souboru [4].

Úkolem práce je porovnat vlastnosti dvou metod odhadu parametrů rozdělení. První metodou je *metoda maximální věrohodnosti*, která patří mezi ty nejběžněji využívané. *Metoda L-momentů* představuje analogii tradičním momentům a vhodný alternativní postup odhadu parametrů rozdělení [6].

2.3.1 Metoda maximální věrohodnosti

Tato metoda patří mezi nejčastěji využívané z důvodu, že jednak využívá veškeré informace obsažené v náhodném výběru a také vede za obecných předpokladů k asymptoticky nestraným, asymptoticky nejvydatnějším a ke konzistentním odhadům [6]. Vychází z takzvané věrohodnostní funkce, již je potřeba si definovat. Náhodný výběr $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]'$ z rozdělení $f(\mathbf{x}; \mathbf{T}) = f(\mathbf{x}; T_1, T_2, \dots, T_p)$ má sdruženou hustotu pravděpodobnosti. Při daných výběrových hodnotách x_i , $i = 1, 2, \dots, n$ závisí funkce $f(\mathbf{x}; \mathbf{T})$ pouze na vektorovém parametru \mathbf{T} . Pak tuto funkci nazýváme funkce věrohodnostní a značíme ji $L(\mathbf{x}; \mathbf{T})$ (L – podle likelihood, anglicky věrohodnost) [6].

Maximálně věrohodný odhad parametru T lze za určitých podmínek získat pomocí rovnice:

$$\frac{\partial L(T)}{\partial T} = 0. \quad [5 \text{ s.144}]$$

2.3.2 L-momenty

L-momenty představují stejně jako klasické konvenční momenty množinu statistik, pomocí kterých lze popsat rozdělení, ale v případě vyšších momentů vykazuje spolehlivější a méně citlivé odhady pro odlehlé hodnoty.

Odhady pro první tři L-momenty (více není potřeba v případě tříparametrického rozdělení, které v práci využíváme) lze vyjádřit jako

$$l_1 = \frac{\sum_i X_i}{n}, \quad l_2 = \frac{\sum_{i>j} X_{i:n} - X_{j:n}}{2 \binom{n}{2}} \quad \text{a} \quad l_3 = \frac{\sum_{i>j>m} X_{i:n} - 2X_{j:n} + X_{m:n}}{3 \binom{n}{3}},$$

kde $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ je uspořádaný výběr pořadových statistik n nezávislých relací a index $i:n$ značí i -tou nejmenší hodnotu ve výběru o velikosti n .

Pro tříparametrické (ξ , β a k) GEV rozdělení jsou první tři L-momenty takoveto:

$$\lambda_1 = \xi + \beta \frac{1 - \Gamma(1+k)}{k},$$

$$\lambda_2 = \beta \frac{(1 - 2^{-k}) - \Gamma(1+k)}{k},$$

$$\lambda_3 = \beta \frac{\Gamma(1+k)(-1 + 3 \cdot 2^{-k} - 2 \cdot 3^{-k})}{k}, \quad \text{kde } \Gamma \text{ označuje gama funkci.}$$

Parametry GEV rozdělení lze tedy určit tak, že výše uvedené tři L-momenty λ_1 , λ_2 a λ_3 se položí rovny odpovídajícím odhadům l_1 , l_2 a l_3 . Odhady parametrů se poté dají snadno vypočíst ze vztahů

$$k = 7,8590 z + 2,9554 z^2,$$

$$\beta = \frac{l_2 k}{(1 - 2^{-k}) \Gamma(1 + k)},$$

$$\xi = l_1 + \beta \frac{\Gamma(1 + k) - 1}{k},$$

$$\text{kde } z = \left(\frac{2}{3 + \frac{l_3}{l_2}} - \frac{\ln(2)}{\ln(3)} \right).$$

[6], [7], [8]

2.4 Bootstrap

Základní myšlenkou metody bootstrap je několikanásobný opakovaný náhodný výběr ze souboru zkoumaných dat o shodném rozsahu a tím následné získání představy o vlastnostech odhadů parametrů. V práci bylo použito takzvaného neparametrického bootstrapu, jehož postup lze naznačit ve třech základních krocích:

1. Sestavení souboru o n pozorováních $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.
2. Z pozorovaného souboru se náhodným výběrem s vrácením vybírá n hodnot $\{x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*\}$, které nahrazují původní soubor.
3. Z každého náhodného výběru o n pozorováních $\{x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*\}$ se vypočítá požadovaná statistická charakteristika θ^* , která reprezentuje bootstrapový odhad nejistoty původního pravděpodobnostního rozdělení se statistickou charakteristikou θ [9], [10], [11].

Konkrétně v této práci bylo použito v každém případě 1000 náhodných výběrů z dat maximálních srážkových úhrnů pro všechny stanice a časové agregace,

ze kterých byly pomocí výše uvedených dvou metod vypočteny potřebné odhady parametrů rozdělení. Posledním krokem bylo určení 95% konfidenčního intervalu odhadů hodnot parametrů pro každou stanici a odpovídající časovou agregaci.

3 Klimatická charakteristika ČR

3.1 Poloha a fyzicko-geografická charakteristika ČR

Česká republika leží ve střední Evropě. Svou rozlohou 78 867 km² se řadí na 21. místo celého kontinentu. [12] Tvarem je území státu kompaktní a roztážené okolo 50. rovnoběžky severní zeměpisné šířky. Vzdálenost od nejzápadnějšího bodu k nejvýchodnějšímu činí 493 km. Největší rozdíl mezi severní a jižní hranicí měří pouze 278 km. Hranice jsou tvořeny ve většině případů pohořími. Tou nejdelší je německá (810,3 km). Dále ČR sousedí s Polskem (761,8 km), Rakouskem (466,3 km) a Slovenskem (251,8 km). [13]

Mírné vlhké podnebí se střídáním čtyř ročních období je charakteristické pro území celé České republiky. Příznačné pro tuto oblast je prolínání vlivů oceánského klimatu (výraznější v oblasti Čech) a kontinentálního klimatu (především na území Moravy a Slezska). Česko se nachází v oblasti převládajících západních větrů a intenzivní cyklonální činnosti. Mezi další určující faktory klimatu patří reliéf. Především jsou jimi okrajová pohoří republiky, jež byla vyzdvížena na přelomu druhohor a třetihor z částí České vysočiny rozlámané alpsko-himálajským vrásněním. I tak více než dvě třetiny území (66,97 %; 52 817 km²) leží v nadmořské výšce do 500 m [14].

Na území Česka se nachází rozvodnice úmoří Černého, Baltského a Severního moře, které se střetávají v Jesenické geomorfologické oblasti, konkrétně na vrcholu Klepý v masivu Kralického Sněžníku, a tvoří hlavní evropské rozvodí. Oblast České republiky křížuje několik říčních os. Mezi hlavní se řadí v Čechách Vltava (délka toku 433 km) a Labe (370 km), které odvádějí vodu do Severního moře. Na Moravě jsou to řeka Morava (246 km) a její přítok Dyje (306 km), které patří do úmoří Černého moře. Pro oblast severní Moravy

a Slezska jsou jimi Odra (135 km) a Opava (131 km) náležející k úmoří Baltského moře [14].

3.2 Klima v České republice

Klima je výslednicí dlouhodobého působení radiačních poměrů, všeobecné cirkulace atmosféry, vlastností podkladu (nadmořská výška, tvar terénu, jeho sklon a orientace, schopnost pohlcovat a odrážet záření) a lidských zásahů. Klimatické klasifikace souhrnně vyjadřují klimatické poměry s přihlédnutím ke vzájemným vazbám mezi jednotlivými meteorologickými prvky, případně k převažujícím typům atmosférické cirkulace. Klasifikací je velké množství a jejich konstrukce závisí na účelu použití [14].

Nejčastěji využívaná metoda, která reflektuje rozložení teplot vzduchu a atmosferických srážek ve vztahu k vegetaci, byla sestavena v roce 1900 a nese název podle německého geografa Wladimira Köppena [15]. Ten dělí podnebí na pět hlavních částí (tropické deštné podnebí, suché podnebí, teplé dešťové podnebí, boreální podnebí a sněhové a ledové podnebí), které se dále rozdělují na celkem jedenáct typů. Pro určení, kam jaká oblast patří, slouží postup popsáný v knize *Das geographische System der Klimate*, kterou Köppen vydal v roce 1936 spolu s Rudolfem Geigerem (proto se metoda někdy nazývá také Köppenova-Geigerova). Zjednodušeně se dá říci, že pro onu klasifikaci postačuje do daného algoritmu dosadit hodnoty ročních a měsíčních srážek spolu s průměrnými teplotami. Na území České republiky se nachází několik typů podnebí. Podtyp listnatých lesů mírného pásma, který řadíme mezi klima teplé deštné, se nachází na většině území. Méně časté podnebí jsou dva podtypy boreálního klimatu, které se vyskytují v horských oblastech. Ojedinelá jsou místa, kde panuje klima sněhové a ledové, konkrétně podtyp

tundry. Najdeme je pouze na několika vrcholcích nejvyšších pohoří Česka Krkonoš a Jeseníků. Teplota nejteplejšího měsíce se tu pohybuje pouze mezi 0 a 10 °C.

Další metoda pro klasifikaci klimatu, jež patří mezi nejčastěji využívané, nese název po E. Quittovi. Je definována celkem čtrnácti faktory (počet letních, ledových a mrazových dní, počet zamračených a jasných dní, počet dní se sněhovou pokrývkou, počet dní se srážkami 1 mm a více, průměrná teplota vzduchu v lednu, v dubnu, v červenci a v říjnu, srážkový úhrn za vegetační období duben až září a v zimním období říjen až březen a počet dní s průměrnou teplotou 10 °C a více) [14]. Podle charakteru místních hodnot Quitt rozdělil podnebí na celkem 3 hlavní typy s celkem 23 podtypy. V České republice se vyskytují pouze některé z nich. Zjednodušeně můžeme říct, že nížiny spadají do oblasti teplé, střední polohy mají středně teplé klima a ve vyšších nadmořských výškách panuje již podnebí chladné.

4 Srážky

Srážky lze definovat jako všechny vodní částice v pevném nebo kapalném skupenství, jež vznikají v atmosféře a dopadají na zemský povrch [21]. Pro vnitrozemskou oblast České republiky jsou srážky hlavním zdrojem vody, která je nepostradatelná téměř ve všech odvětvích lidské činnosti i přírodních dějích. Významné výkyvy oproti normálnímu stavu bývají doprovázeny nepříjemnými následky v podobě hospodářských a materiálních škod nebo ztrát lidských životů. V posledních letech postihlo Česko několik těchto extrémů. Následkem zvýšených srážek mohou být povodně, jejichž nejčastější příčiny bývají:

- a) krátké intenzivní srážky v letních měsících. Vznikají zejména v oblasti studených a zvlněných studených front. Při náhlém plošném odtoku způsobují ničivé lokální povodně.
- b) vydatné trvalé srážky, jež mívají frontální původ a větší územní rozsah. V roce 2002 způsobily jednu z největších přírodních katastrof na území České republiky. Zápavy ze srpna tohoto roku měly na svém kontě 17 lidských životů a materiální škody vyčíslené na více než 70 miliard korun [18 s. 127–131].
- c) tání sněhové pokrývky, které však záleží na mnoha faktorech. Důležité jsou množství a vodní hodnota sněhové pokrývky, stav půdy, intenzita oteplení a ledové jevy na řekách. Efekt mohou navíc zesílit srážky a vyšší rychlost větru při kladných teplotách vzduchu. [18 s. 127–131]

Nedostatek srážek má negativní vliv zejména v oblasti zemědělství a vodohospodářství. Jako příklad lze uvést dlouhodobé sucho z dubna až

června roku 2000, které se projevilo na neúrodě obilovin na jižní Moravě. Státní kompenzace zemědělcům za ušlé zisky dosáhla téměř 5 miliard korun (např. u jarní pšenice, která je zvláště citlivá na srážky v uvedeném období, poklesl průměrný hektarový výnos z 3,9 t.ha⁻¹ v roce 1999 na 2,8 t.ha⁻¹ v následujícím roce) [20].

4.1 Rozložení srážek během roku

Rozložení srážek během roku vyjadřuje takzvaná míra ombrické kontinentality a oceanity, která pracuje s rozdíly rozdělení srážek a jejich maximálními hodnotami. Nejvyžívanější způsob pro vyjádření této míry bývá označován podle C. G. Markhama a pracuje s kategorizací oblastí podle stupně nerovnoměrnosti ročního chodu srážek (využívá vektorového součtu jednotlivých měsíčních úhrnů, přičemž velikost výsledného vektoru je dělena ročním úhrnem srážek a vyjádřena v procentech) [14 s. 256].

Nižší stupeň nerovnoměrnosti ročního chodu srážek do 5 % je typický pro území nejvyšších hor České republiky. Tyto oblasti označujeme jako ombricko-oceanitní. Území ombrické kontinentality se nachází v oblastech kotlin a nížin (například Českobudějovická a Třeboňská pánev mají více než 30 %). Dále je pro Česko charakteristické nerovnoměrné rozdělení měsíců s nejvíce a nejméně srážkami. Měsíc s maximálními průměrnými srážkami, červenec, není pro všechny měřicí stanice stejný. V některých případech připadá ono maximum na červen (např. stanice Churáňov v Jihočeském kraji), jinde na srpen (např. stanice Chřibská v Ústeckém kraji) a na meteorologických stanicích Rokytnice nad Jizerou a Harrachov (obě v Libereckém kraji) je měsícem s celkově nejvyšším úhrnem srážek prosinec [14 s. 256], [19].

5 Meteorologické měření na území ČR

5.1 Historie měření

Nejstarší zprávy o stavu počasí na území České republiky se datují už ke 12. století. Zaznamenávány byly pouze neobvyklé přírodní jevy, které postrádaly jakékoli přesnější empirické vyjádření. K prvním průkopníkům meteorologie a propagátorům vzniku přesných měřících stanic se řadí již Johannes Kepler (1571–1630), podle kterého je kvalitní klimatologie podmíněna pravidelným a přesným meteorologickým měřením. Významnější zlom nastal až v roce 1752, kdy tehdejší ředitel pražské klementinské hvězdárny Josef Stepling (1716–1778) začal na svém pracovišti s pravidelným měřením teplot. Steplingův nástupce Antonín Strnad (1746–1799) měl plány ještě velkolepější. Uvědomoval si, že sebelepší pozorování na jednom místě nemůže vypovídat o povětrnostních podmínkách v celé zemi a je potřeba myšlenku šířit ke spolehlivým a rozumným lidem, kteří by mohli podávat pravidelné informace o stavu počasí po dobu několika let. Takto získaná data byla centrálně zpracovávána a následně souhrnně publikována badateli působícími v Klementinu. Na instituci z mezinárodního hlediska výborně vybavenou povýšil Klementinum Karl Kreil (1798–1862), který vybudoval v Praze zcela novou magnetickou a meteorologickou observatoř [18]. Období vlády Habsburské monarchie i první republiky bylo ve znamení růstu sítě meteorologických stanic a stěhování centra instituce mezi Prahou a Vídní.

Velkou změnu vyvolalo státní nařízení č. 96/1953 Sb. o Hydrometeorologickém ústavu vstupující v platnost 1. ledna 1954. Znamenalo sloučení Státního meteorologického ústavu s hydrologií a vznik jedné instituce zaštiťující oba obory. Tento způsob kooperace existuje dodnes, přestože roku 1969 došlo k oficiálnímu administrativnímu rozdělení úřadu

na českou (s názvem Hydrometeorologický ústav Praha a od roku 1980 Český hydrometeorologický ústav) a slovenskou (s názvem Hydrometeorologický ústav Bratislava a od roku 1982 Slovenský hydrometeorologický ústav) část. Po rozpadu federace v roce 1993 došlo ke změně pouze ve smyslu kompetencí. Nově Český hydrometeorologický ústav spadá pod vedení ministerstva životního prostředí [18].

5.2 Způsoby měření srážek na území ČR

První měření množství srážek v pražském Klementinu se datuje k roku 1752. Postrádalo však systematickosti. Pravidelná souvislá pozorování v českých zemích začala teprve 1. ledna 1803 v Brně a 1. května 1804 v Praze, Klementinu. Srážkový úhrn byl tehdy zjišťován pomocí vážení nádoby o daném průměru a následného přepočítání na výšku vodního sloupce v dobových délkových jednotkách. Se zřízením rakouského Ústředního ústavu pro meteorologii a zemský magnetismus ve Vídni se přešlo na měření standardizovanými srážkoměry s válcovou záchytnou nádobou. Zachycené množství srážkové vody nebo rozpuštěného sněhu v případě tuhých srážek se pak měřilo v kalibrované odměrce s přesností na desetiny milimetru. Od šedesátých let dvacátého století se srážky v Česku měřily staničním srážkoměrem typu METRA o záchytné ploše 500 cm², který musel být umístěn na volném prostranství 1 m nad zemí. Množství srážek se zjišťovalo vždy v 7 hodin ráno místního času, přičemž naměřený úhrn byl zapisován k předchozímu dni. V souvislosti s automatizací meteorologických pozorování se od roku 1997 začal srážkoměr METRA nahrazovat automatickým srážkoměrem MR3H se stejnou záchytnou plochou a mechanismem děleného překlápečího člunku, měřící s rozlišením na 0,1 mm [15].

Ombrograf je druh srážkoměru, který umožňuje zaznamenávání srážek kontinuálně. Přibývajících srážky v zachytné nádobě jsou mechanicky zaznamenávány pomocí otočného válce na papír, který se nazývá ombrogram. Digitalizace ombrogramů a jejich následná analýza umožňuje vyhledat extrémní úhrny srážek pro intervaly kratší než 24 hodin [22].

6 Data

Použitá sada srážkových úhrnů byla vytvořena spojením dat získaných z digitalizovaných ombrografických záznamů (pro období let 1921 až 2009) a záznamů z automatických stanic. Jelikož v průběhu měření automatických stanic došlo ke změně časového kroku záznamu (10 a 15 minut), byl zvolen nejmenší společný 30-minutový krok. Data, která jsem měl od vedoucího práce k dispozici, byla již podrobena kontrole kvality. Za nespolehlivé byly označeny údaje pro dny, kdy byl rozdíl mezi hodnotami získanými z digitálních a automatických stanic vyšší než 1,5 mm nebo 10 % denního úhrnu (pro dny s rozdílem nad 15 mm srážek). Byly vyřazeny roční záznamy pro stanice, kde počet nespolehlivých denních údajů přesáhl hranici 5 %.

Po vyloučení nespolehlivých záznamů vznikly řady délek 17 až 88 let z 54 stanic (průměrná délka 34,4 let; celkově 1858 let). Zpracovaná data obsahují maximální srážkové úhrny za daný rok v období od května do září v sedmi intervalech (30 min, 1 h, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h a 24 h).

Zdroj dat	Digitalizované ombrografické záznamy a záznamy z automatických stanic
Počet stanic	54
Nejdelší délka časové řady	88 let (stanice Tábor)
Nejkratší délka časové řady	17 let (stanice Velichovky a Dukovany)
Řady nad 50 let	5 stanic
Řady nad 40 let	17 stanic
Řady nad 30 let	25 stanic
Řady nad 20 let	50 stanic
Průměrná délka řady	34,4 let
Celková délka	1858 let
Agregace časových řad	30 minut, 1 hodina, 2 hodiny, 3 hodiny, 6 hodin, 12 hodin a 24 hodin

Tabulka 6.1; Souhrnné informace o vstupních datech

7 Sestavení výzkumných otázek a diskuse nad výsledky

Cílem této kapitoly je seznámit s výsledky mé práce pomocí výzkumných otázek, které budou založeny především na porovnání dvou metod výpočtu bodových odhadů - metody maximální věrohodnosti (MLE, maximum-likelihood estimation) a metody L-momentů (LMOM, L-moments). Odpovědi na tyto otázky mohou tedy posloužit jako doporučení pro volbu vhodného výpočtu odhadu pravděpodobnosti v závislosti na níže uvedených faktorech. Předmětem srovnání bude především chování odhadů parametru tvaru (k , shape parameter) a zkoumání vlivů vedoucích k takzvaným těžkým chvostům, tedy kdy $k > 0$.

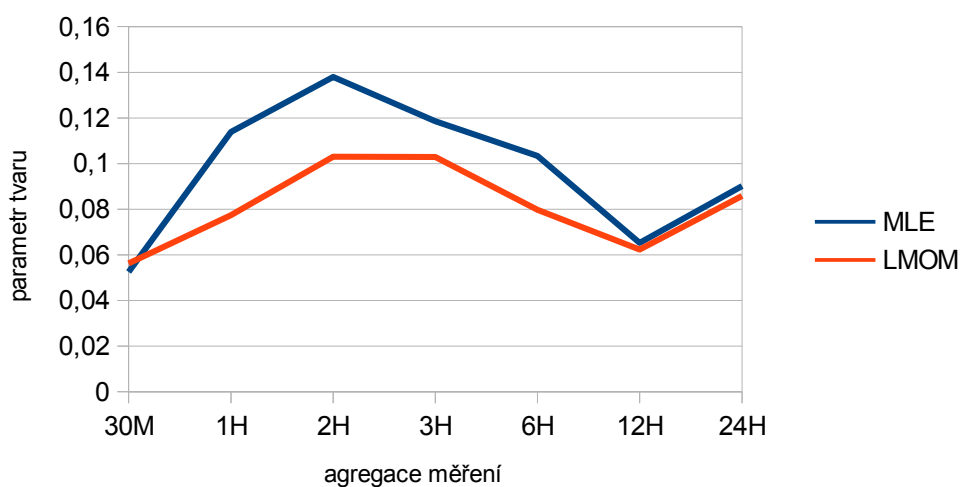
Výzkumné otázky:

1. Má délka agregace měření vliv na odhady hodnot parametru tvaru?
2. Jak se mění odhad parametru tvaru v závislosti na délce pozorovaných řad?
3. Jak závisí šířka 95% intervalu spolehlivosti odhadu parametru tvaru na délce pozorovaných řad?

7.1 Výzkumná otázka 1:

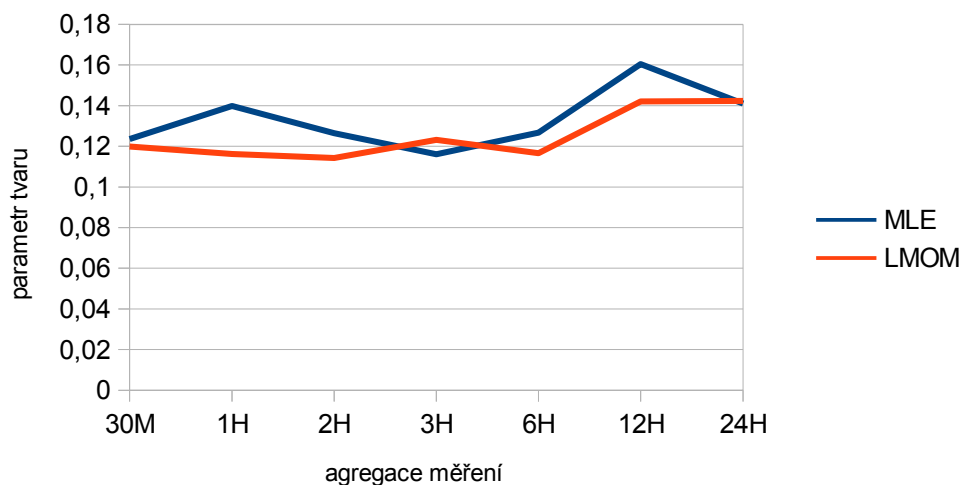
Má délka agregace měření vliv na odhady hodnoty parametru tvaru?

Zodpovězení této otázky předcházelo vypočítání odhadů parametrů z dat pořízených každou z 54 hydrometeorologických stanic a pro všechny jejich agregace měření.



Graf 7.1; Vliv délky agregace na odhady parametru tvaru, vypočteno za použití aritmetického průměru

Podle *Grafu 7.1* lze vysledovat, že průměrné hodnoty odhadů parametru tvaru ze všech stanic jsou při agregacích 30 minut, 12 a 24 hodin pro obě metody téměř shodné a vždy nižší než 0,1. Ve zbylých případech vykazuje metoda maximální věrohodnosti mírně vyšší hodnoty. Tento fakt by se dal vysvětlit zkreslením při použití metody aritmetického průměru, jelikož v těchto agregacích pro některé stanice vycházejí při metodě MLE vyšší hodnoty parametru (těžké chvosty). I z tohoto důvodu nelze přesně určit, zda délka agregace měření má vliv na parametr tvaru.

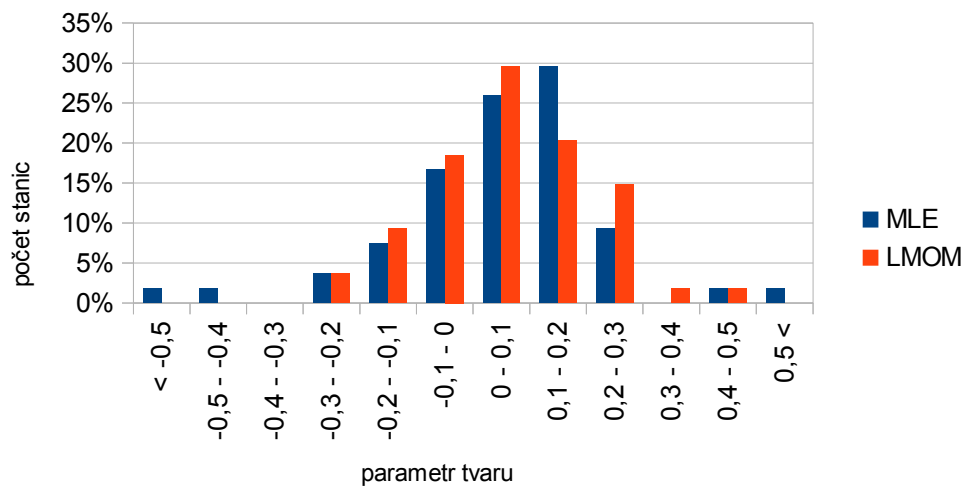


Graf 7.2; Vliv délky agregace na hodnotu parametru tvaru, vypočteno za použití **mediánu**

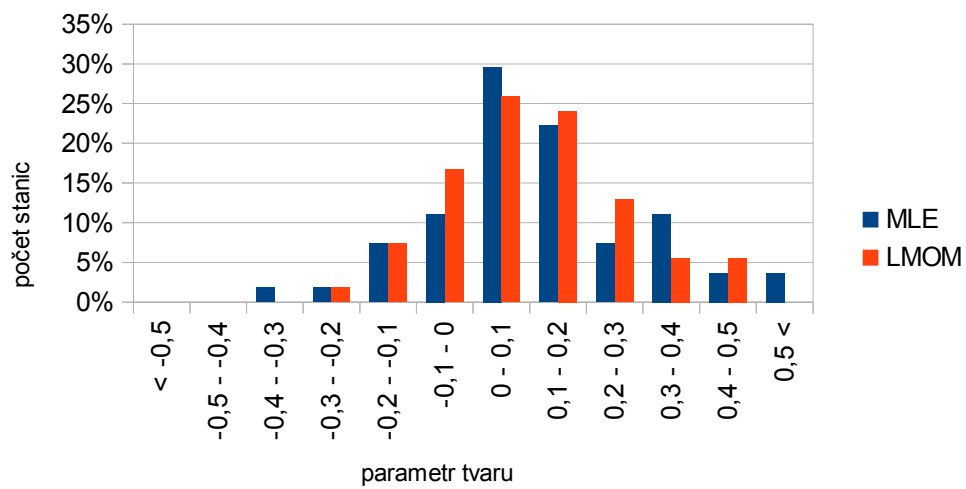
Vhodnějším způsobem, jak zodpovědět položenou výzkumnou otázku, je použití mediánu. Z grafu (Graf 7.2) lze vyčíst, že rozdíly mezi mediánem hodnot odhadů parametru tvaru u obou metod jsou velice nízké (největší rozdíl u agregace 1H, činí 0,024).

Medián odhadů parametru tvaru u metody MLE je nejvyšší pro agregaci 12H a nejnižší při agregaci 3H, rozdíl mezi nimi činí 0,044.

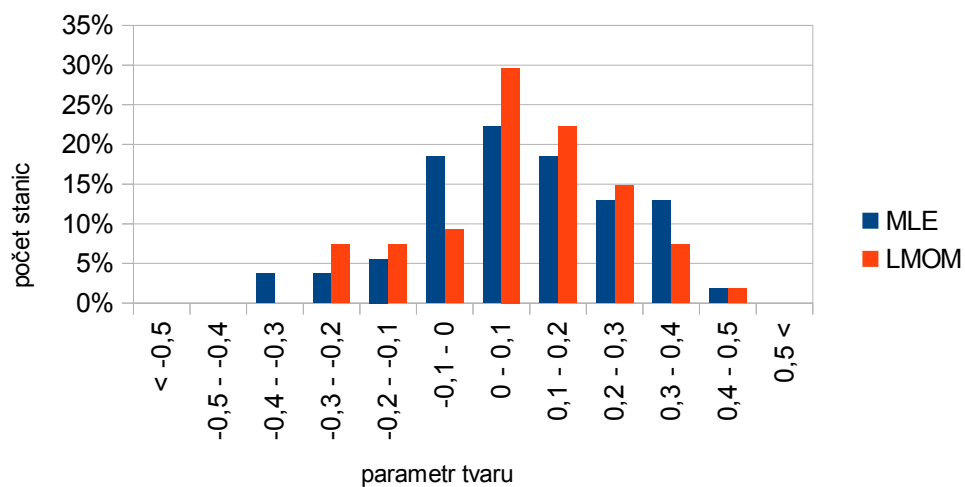
Medián odhadů parametru tvaru pro metodu LMOM je nejvyšší pro agregaci 24H a nejnižší při agregaci 2H, rozdíl mezi nimi činí 0,028.



Graf 7.3; Histogram rozdělení odhadů parametru tvaru, pro agregaci **30MIN**

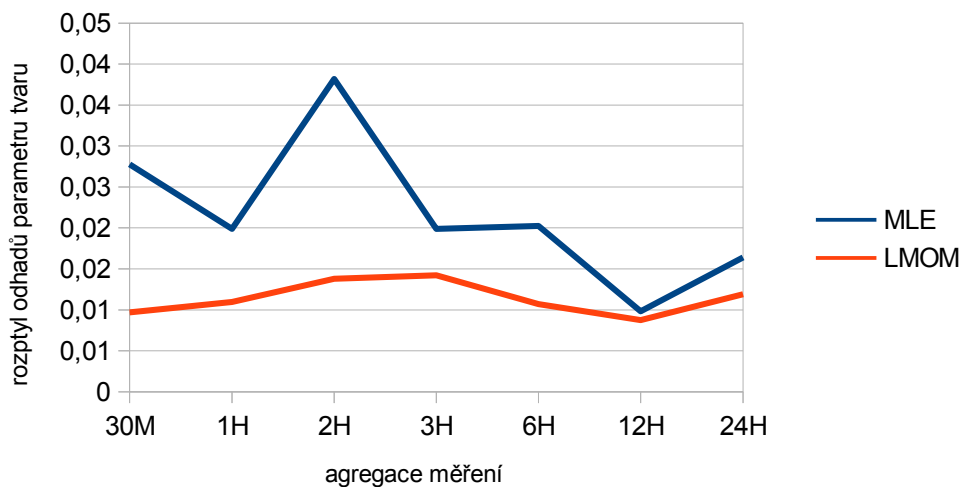


Graf 7.4; Histogram rozdělení odhadů parametru tvaru, pro agregaci **3H**



Graf 7.5; Histogram rozdělení odhadů parametru tvaru, pro agregaci **24H**

Na výše uvedených histogramech (Grafy 7.3, 7.4 a 7.5) lze srovnat chování obou odhadů parametrů v závislosti na délce agregace. Co se týče parametru tvaru u L-momentové metody, ve všech třech případech se chová prakticky stejně. Nabývá hodnot mezi -0,3 až 0,5 a jasně převažují kladné hodnoty, které odpovídají těžkým chvostům. Rozdílné chování lze však vyzorovat u metody maximální věrohodnosti, kde s vyšší dobou agregace měření ubývá extrémně nízkých i vysokých odhadů parametru a rozptyl se snižuje.



Graf 7.6; Graf rozptylů odhadů parametru tvaru pro všechny stanice v daných agregacích

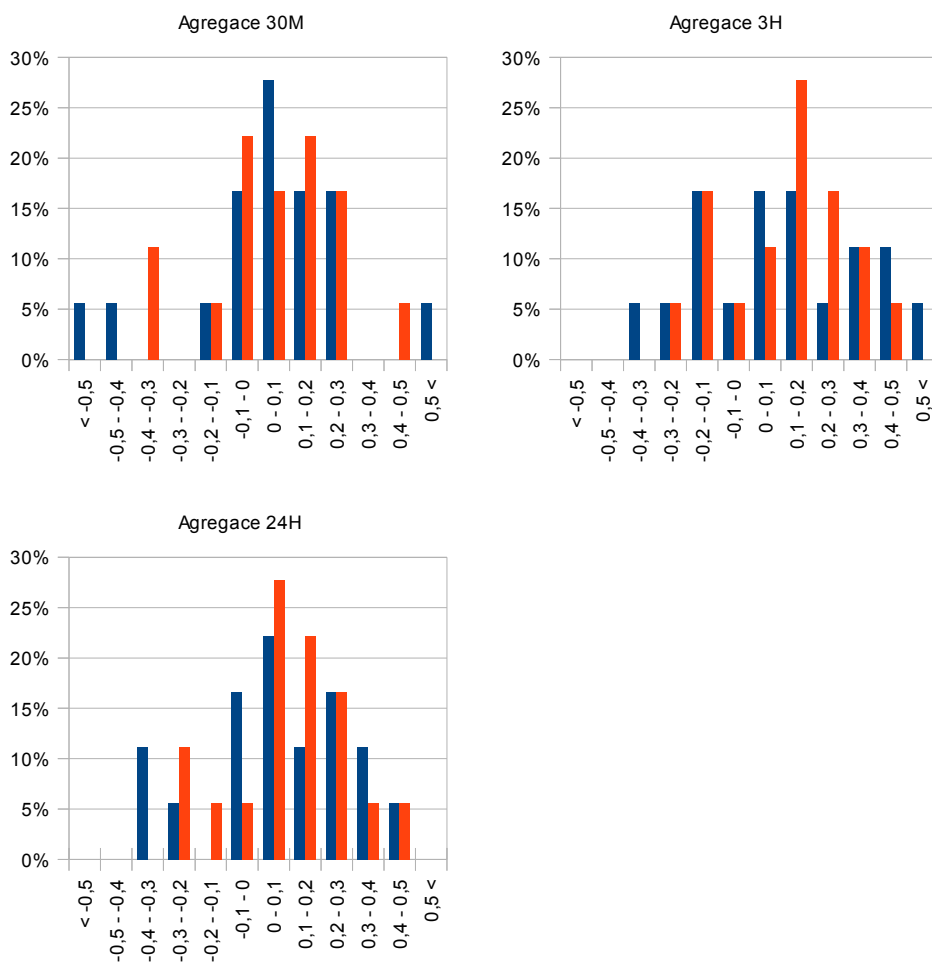
Závěr: Délka agregace má vliv především na odhad parametru tvaru u metody maximální věrohodnosti. V tomto případě se se zvyšující agregací snižuje rozptyl hodnot parametru tvaru mezi stanicemi ze sledovaného vzorku měření. U metody L-momentové nebyl zaznamenán významný vliv doby agregace měření na velikost odhadu parametru tvaru.

7.2 Výzkumná otázka 2:

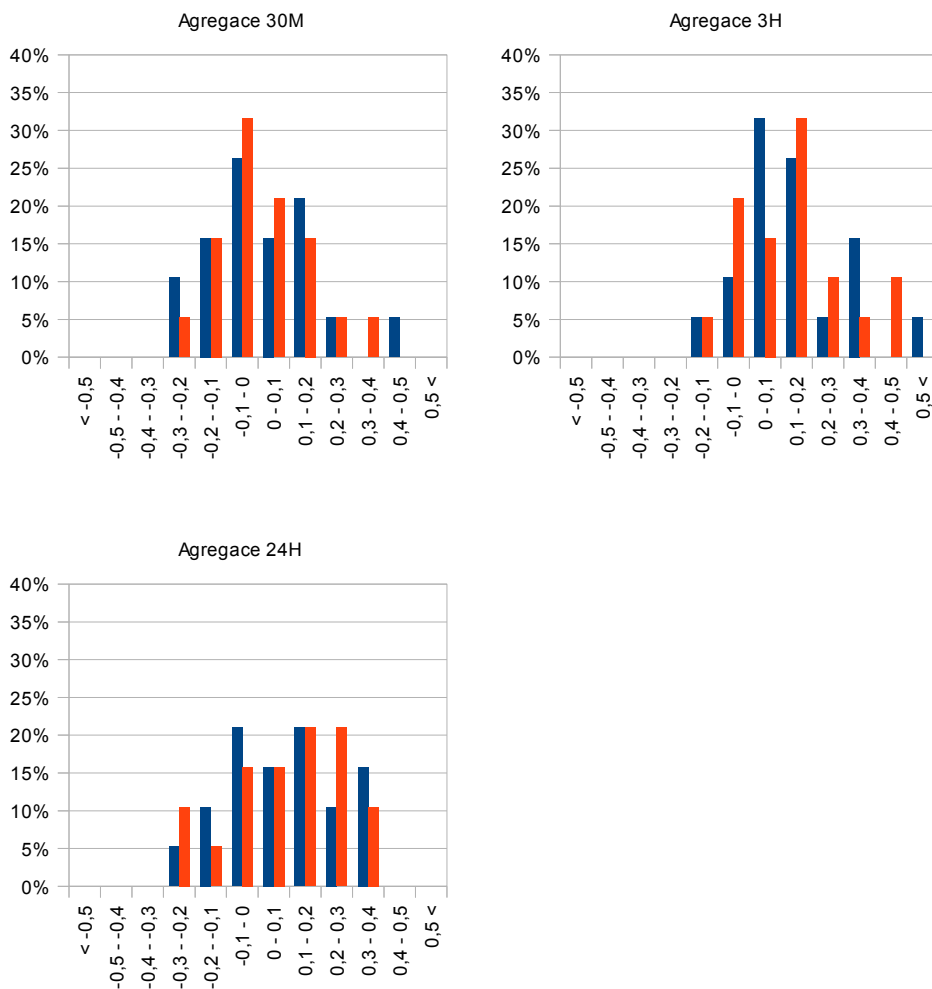
Jak se mění odhad parametru tvaru v závislosti na délce pozorovaných řad?

Jak bylo již uvedeno v kapitole 6 Data, práce se opírá o výsledky měření z celkem 54 hydrometeorologických stanic, které se však liší počtem let, kdy jsou dostupná adekvátní data (od 17 do 88 let). Pro potřeby zodpovězení výzkumné otázky jsou rozděleny stanice do tří skupin: v 1. skupině jsou stanice

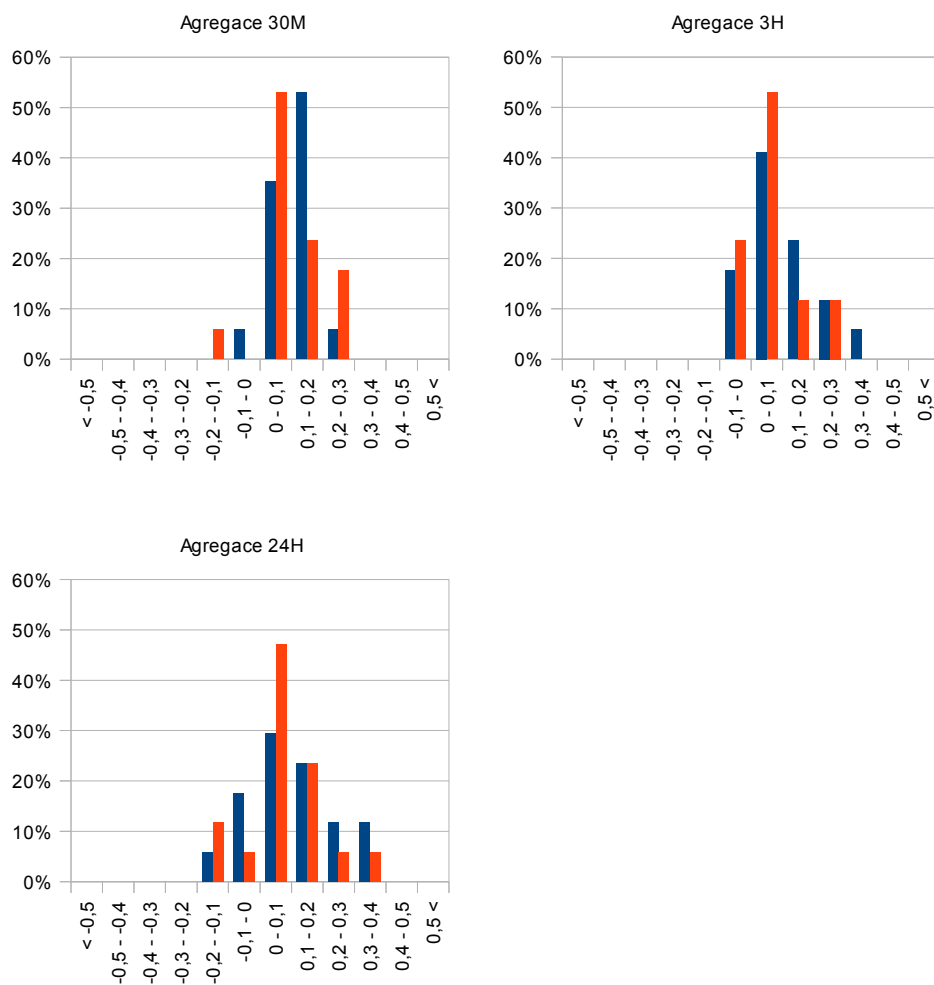
v rozsahu měření nižším než 25 let (celkem 18 stanic), ve druhé skupině stanice s rozsahem od 25 do 40 let (19 stanic) a zbylé stanice s nejdelšími pozorovanými řadami nad 40 let (17 stanic).



*Graf 7.7; Rozdělení odhadů parametru tvaru pro **stanice s počtem let nižším než 25** pro určité intervaly hodnot parametru tvaru. Pozn.: modré sloupce odpovídají metodě MLE, červené sloupce odpovídají metodě LMOM*



Graf 7.8; Rozdělení odhadů parametru tvaru pro stanice s počtem let od 25 do 40 pro určité intervaly hodnot parametru tvaru. Pozn.: modré sloupce odpovídají metodě MLE, červené sloupce odpovídají metodě LMOM



Graf 7.9; Rozdělení odhadů parametru tvaru pro *stanice s počtem let vyšším než 40* pro určité intervaly hodnot parametru tvaru. Pozn.: modré sloupce odpovídají metodě MLE, červené sloupce odpovídají metodě LMOM

	Agregace 30M	Agregace 3H	Agregace 24H
Méně než 25 let měření	0,117	0,056	0,052
25 až 40 let měření	0,031	0,033	0,036
Více než 40 let měření	0,005	0,011	0,023

Tabulka 7.1; Rozptyly odhadů parametru tvaru vypočítaného metodou MLE pro stanice rozdělené podle počtu let měření

	Agregace 30M	Agregace 3H	Agregace 24H
Méně než 25 let měření	0,042	0,038	0,037
25 až 40 let měření	0,021	0,025	0,031
Více než 40 let měření	0,009	0,009	0,015

Tabulka 7.2; Rozptyly odhadů parametru tvaru vypočítaného metodou LMOM pro stanice rozdělené podle počtu let měření

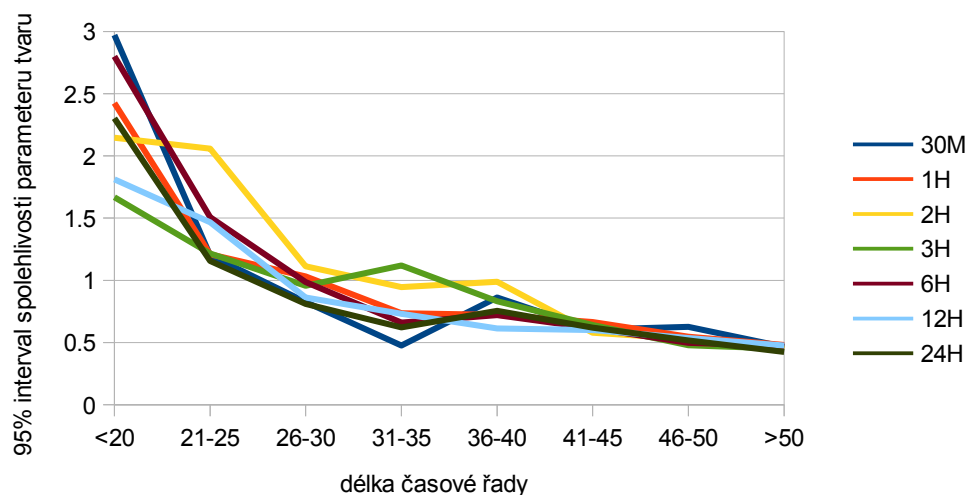
V uvedených histogramech byla vybrána data pro tři vzorové agregace (nejnižší 30M, dále 3H a nejdelší 24H). Výzkumná otázka se ptá na vztah mezi délkou časové řady a velikostí odhadu parametru tvaru. Zde je, na rozdíl od první otázky, odpověď snadno pozorovatelná. Rozsahy hodnot odhadů parametru se snižují se zvyšujícím se počtem použitých dat, respektive naměřených let srážkových úhrnů na jednotlivých stanicích. Odlehlé hodnoty odhadů parametru tvaru se vyskytují především u stanic, které nabízejí pouze malé výběry dat. Tento fenomén lze vysvětlit jako projev náhodné proměnlivosti.

Závěr: S přibývajícím počtem měřených let klesá rozptyl hodnot odhadu parametru tvaru.

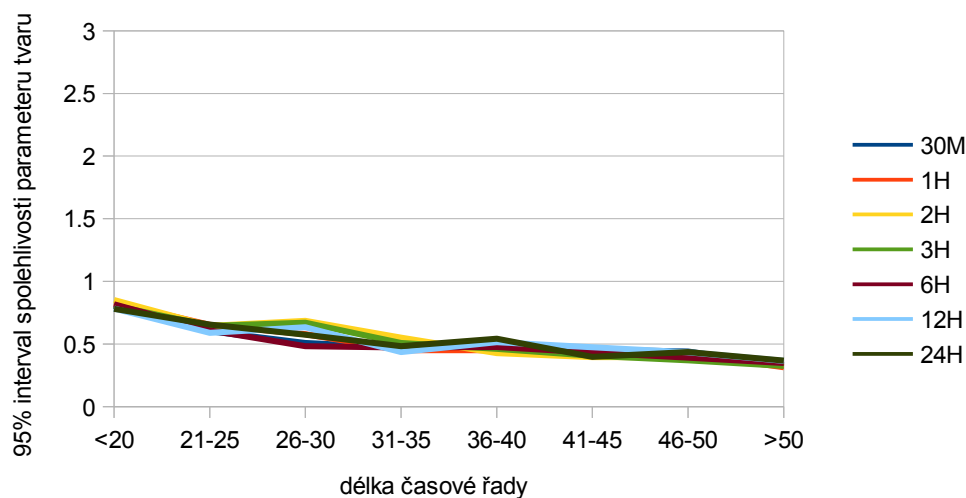
7.3 Výzkumná otázka 3:

Jak závisí šířka 95% intervalu spolehlivosti odhadu parametru tvaru na délce pozorovaných řad?

K výpočtu konfidenčního intervalu byla použita metoda bootstrap, konkrétně její neparametrická varianta. Tato metoda simuluje náhodné výběry prvků z naměřených hodnot s vrácením (tzn. že některé hodnoty se mohou ve výběru vyskytovat opakovaně). V práci byla použita metoda bootstrap s 1000 náhodnými výběry pro vytvoření každého intervalu spolehlivosti.

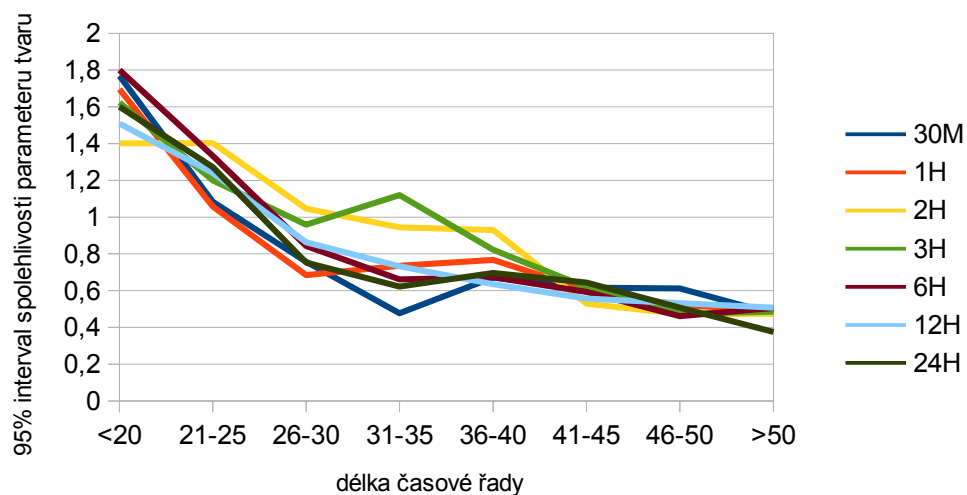


Graf 7.10; Graf závislosti šířky 95% intervalu odhadu spolehlivosti parametru tvaru na délce časové řady; počítáno přes aritmetický průměr, pro metodu MLE

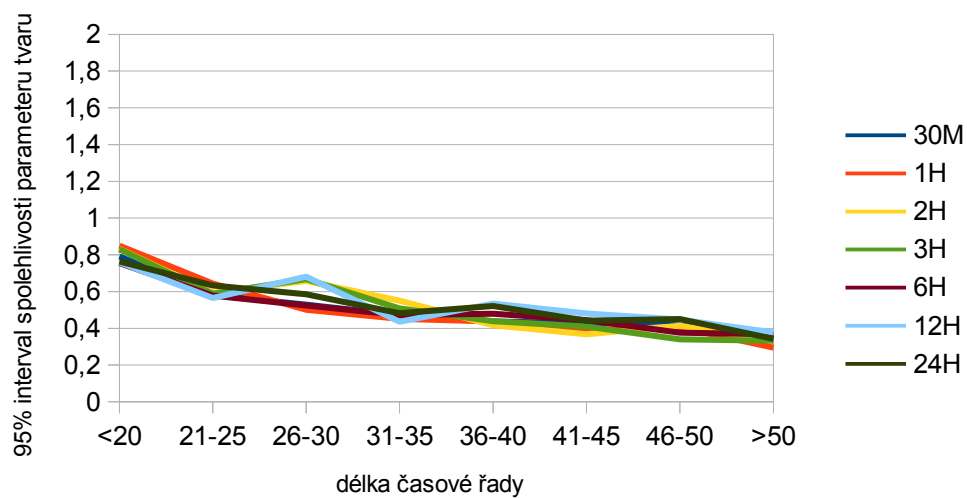


Graf 7.11; Graf závislosti šířky 95% intervalu spolehlivosti odhadu parametru tvaru na délce časové řady; počítáno přes **aritmetický průměr**, pro **metodu LMOM**

Graf 7.10 a 7.11 zkoumají šířku 95% intervalu spolehlivosti odhadů parametru tvaru v závislosti na velikosti výběru pro všechny agregace zvlášť. Dle očekávání má interval v obou případech s rostoucím počtem měření klesající tendenci. Tento fakt jen potvrzuje závěr výzkumné otázky číslo 2. Rozdílnými jsou zde však hodnoty u zkoumaných metod. Z grafu 7.10 je patrné, že průměr intervalů spolehlivosti odhadů parametru tvaru, který byl získán výpočtem pomocí metody maximální věrohodnosti, nabývá pro kratší časové řady o poznání vyšších hodnot ve srovnání s metodou L-momentů. To, že tento jev nezpůsobilo zprůměrování hodnot pro dané časové intervaly, dokazují následující grafy (Grafy 7.12 a 7.13), kde byla použita metoda mediánu.



Graf 7.12; Graf závislosti šířky 95% intervalu spolehlivosti odhadu parametru tvaru na délce časové řady; počítáno přes **medián**, pro **metodu MLE**



Graf 7.13; Graf závislosti šířky 95% intervalu spolehlivosti odhadu parametru tvaru na délce časové řady; počítáno přes **medián**, pro **metodu LMOM**

Závěr: Šířka 95% intervalu spolehlivosti odhadů parametru tvaru, který byl vypočítán pomocí metody bootstrap, se s větším počtem vstupních dat snižuje. Rychlost klesání křivek je pro obě metody výpočtu odhadů parametru rozdílná. Pro nejmenší výběry se medián šířky intervalu spolehlivosti odhadů parametru tvaru u metody MLE pohybuje mezi hodnotami 1,6 a 1,8. Pro stanice, ze kterých byla použita data z více než 50 let, klesl medián šířky intervalu (shodně i průměr) pro všechny agregace na hodnotu 0,6 a nižší. Křivky průměrů i mediánů šířek intervalu spolehlivosti odhadů parametru tvaru, který byl vypočten metodou LMOM, mají podobný tvar a shodně klesají z hodnot okolo 0,8 pro malé výběry pod hodnotu 0,4 pro datové řady o velikosti nad 50 let. I tyto šířky intervalů spolehlivosti odhadů parametru tvaru lze však komentovat jako vysoké s ohledem na vypočítané hodnoty odhadů parametrů (viz přílohy).

8 Představení výsledků na příkladu stanice Liberec

V této kapitole jsou na příkladě jedné konkrétní stanice představeny možné interpretace výsledků a jejich využitelnost v praxi. Následující údaje lze získat pro každou z 54 stanic, ze kterých byla použita data pro tuto práci. Velký počet stanic nabízí možnost interpretace pomocí GIS a následného modelování a analyzování srážek ve vztahu k prostoru a krajině.

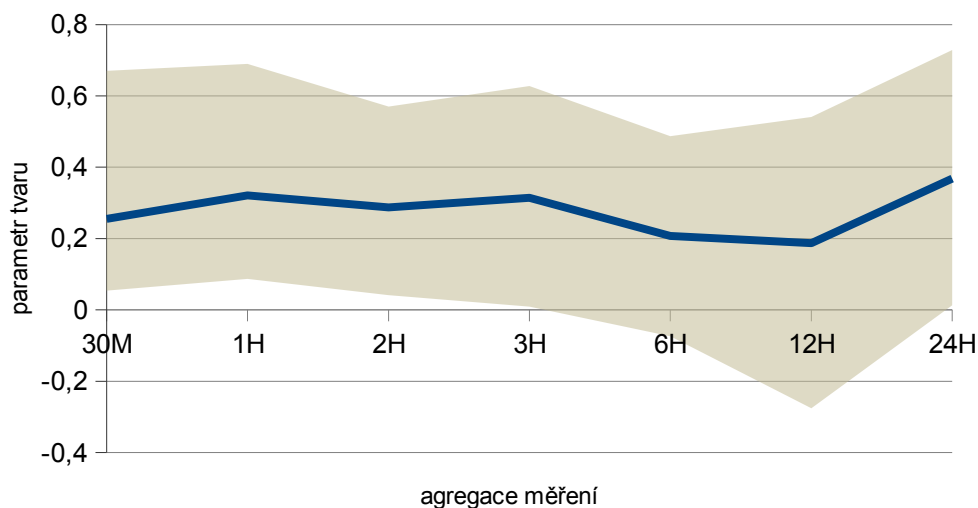
Stanice Liberec se nachází v těsné blízkosti Aeroklubu v Liberci (50°46'12.1"N, 15°01'27.1"E) ve výšce 397,7 m n. m. a spadá do povodí Lužické Nisy. Nejstarší vhodné údaje z této stanice pocházejí z roku 1961 a jedná se o data získaná ombrograficky, od roku 2004 se zde měří automaticky. Celkově byla k dispozici časová řada o délce 51 let, ze které bylo odstraněno 10 let pro chyby či nespolehlivost. S délkou časové řady 41 let patří stanice Liberec na 17. místo ze všech 54 stanic.

Agregace	Množství srážek (v mm)	Časové určení (střed)
30 minut	42,1	6.7.1999, 20:00
1 hodina	56,5	5.7.1993, 19:30
2 hodiny	65,3	5.7.1993, 20:30
3 hodiny	66,1	5.7.1993, 21:00
6 hodin	66,1	5.7.1993, 21:00
12 hodin	115	24.6.1992, 06:00
24 hodin	124,5	24.6.1992, 08:30

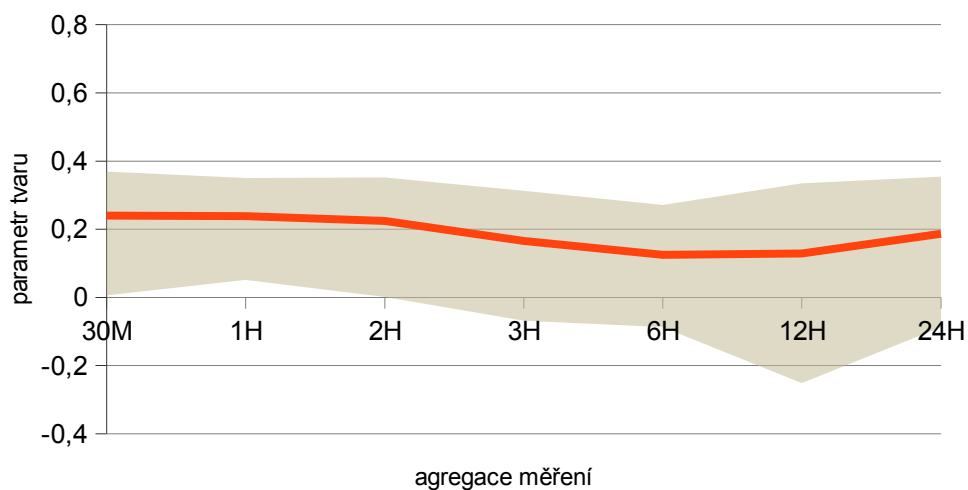
Tabulka 8.1; Nejvyšší srážkové úhrny pro stanici Liberec

8.1 Parametr tvaru pro stanici Liberec

Ze získaných dat lze vypočítat hodnoty odhadů parametru tvaru pro obě metody. V grafech jsou vyznačeny i 95% intervaly spolehlivosti.



Graf 8.1; Graf hodnot odhadů parametru tvaru vypočítaného metodou **MLE** včetně 95% intervalu spolehlivosti (šedá oblast) pro stanici Liberec



Graf 8.2; Graf hodnot odhadů parametru tvaru vypočítaného metodou **LMOM** včetně 95% intervalu spolehlivosti (šedá oblast) pro stanici Liberec

Pozn.: Pro lepší přehlednost přikládám tabulku s odhady parametru tvaru

	30M	1H	2H	3H	6H	12H	24H
MLE	0,26	0,32	0,29	0,31	0,21	0,19	0,37
LMOM	0,24	0,24	0,22	0,17	0,12	0,13	0,19

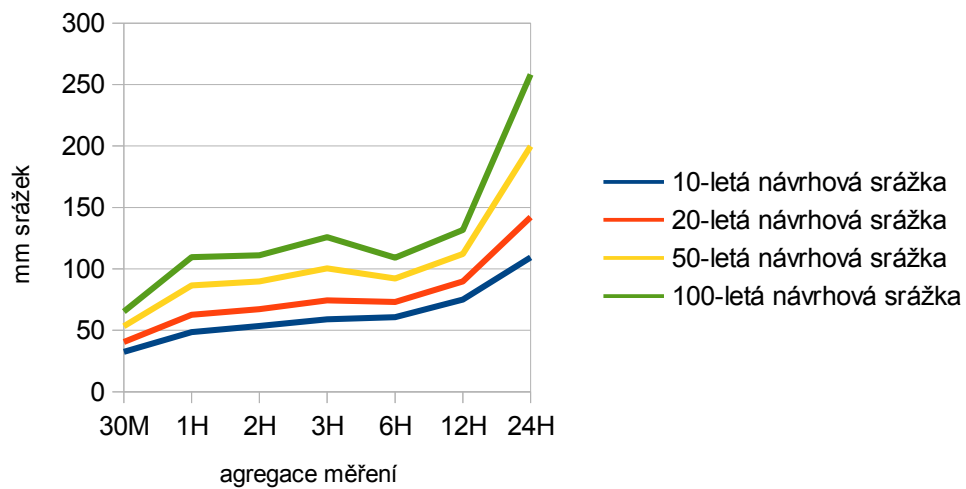
Tabulka 8.2; Tabulka odhadů parametrů tvaru pro stanici Liberec

Z uvedených grafů lze vypožorovat rozdílné chování odhadů, respektive jejich intervalů spolehlivosti, v závislosti na zvoleném způsobu výpočtu. Odhad parametru tvaru získaný metodou L-momentů má ve srovnání s metodou maximální věrohodnosti vyrovnanější hodnoty. Tvary křivek grafů vykazují podobnost, avšak u L-momentové metody nedochází k tak výrazným výkyvům (např. agregace 24H).

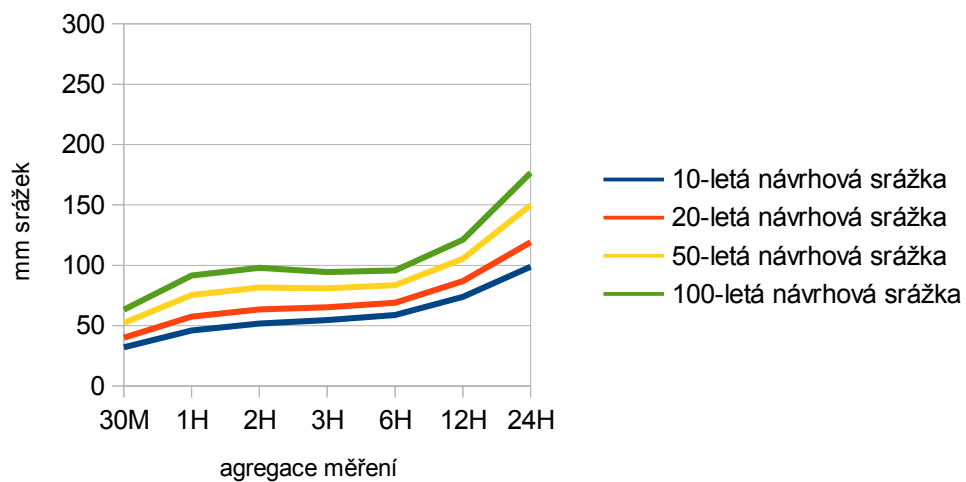
8.2 Odhady návrhových srážek pro stanici Liberec

Pojem „návrhová srážka“ označuje srážkový úhrn v určitém časovém intervalu (v případě této práce jsou to časové agregace 30M, 1H, 2H, 3H, 6H, 12H a 24H), který odpovídá n -leté periodě opakování (v tomto případě byly za n voleny hodnoty 10, 20, 50 a 100, tzv. kvantily). Doba opakování se rovná obrácené hodnotě pravděpodobnosti překročení (dosažení) dané hodnoty.

Návrhové srážky mají své využití v praxi. Potřeba jsou především v plánování inženýrských staveb a nebo pro výpočet plánovaného průtoku [21].



Graf 8.3; Graf návrhových srážek pro stanici Liberec vypočítaných pomocí metody **MLE**



Graf 8.4; Graf návrhových srážek pro stanici Liberec vypočítaných pomocí metody **LMOM**

Grafy 8.1.1 a 8.1.2 znázorňují odhadnuté kvantily pro obě metody výpočtu. Lze zde vypořovovat podobnost s křivkami parametrů tvarů (například prudký růst pro agregaci 24H u metody MLE).

Z výsledků jsou patrné dva jevy, které odporují realitě. Musí být brán tedy ohled na fakt, že se jedná o výsledky odhadů statisticky určených s jistou mírou neurčitosti.

1. I „nerealisticky“ vysoké srážky mají nenulovou pravděpodobnost. Tento fakt však většinou odpovídá kvantilům, které nejsou pro praxi zajímavé.
2. Mohou nastat tzv. paradoxní jevy, které nastávají, pokud hodnota návrhové srážky pro danou agregaci měření je nižší než hodnota návrhové srážky s kratší agregací měření (například u výše uvedeného grafu 8.3 lze tento jev pozorovat pro 100-letou návrhovou srážku a hodnoty u agregací 3H a 6H)

	Metoda MLE	Metoda LMOM
Méně než 25 let měření	15,5%	10,7%
25 až 40 let měření	13,4%	8,3%
Více než 40 let měření	9,6%	6,1%

Tabulka 9.1; Procentuální zastoupení výskytu paradoxních jevů pro všechny stanice rozdělené dle počtu let měření

Výrazně nižší četnost výskytu těchto jevů u metody LMOM lze interpretovat jako jednu z výhod získávání odhadů tímto způsobem.

10 Závěr

S využitím nejnovějších dat byly odhadnuty parametry rozdělení krátkodobých srážkových extrému a kvantily odpovídající 10-letým, 20-letým, 50-letým a 100-letým hodnotám pro všech 54 vybraných hydrometeorologických stanic. Neurčitosti odhadů byly vyhodnoceny pomocí intervalu spolehlivosti. Získané výsledky byly poté podrobeny bližšímu zkoumání. Zaměřil jsem se na porovnání charakteristik pravděpodobnostního rozdělení podle různých kritérií za pomoci výzkumných otázek, jejichž zodpovězení a kritické zhodnocení výsledků může posloužit dalším autorům. Dále byla zvolena stanice Liberec, na které byly předvedeny možné interpretace získaných výsledků a naznačeno jejich využití v praxi.

Z výsledků vyplývá, že metoda L-momentů, která se využívá k odhadům pravděpodobností extrémních srážkových jevů o poznání kratší dobu, je velice vhodnou alternativou. Lepších výsledků dosahuje především pro kratší časové řady, se kterými se v praxi musíme, z důvodu stále nedostačujícího množství vyhovujících dat, setkávat.

Seznam použitých zdrojů

- [1] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe an overview of the last decade*. 1. oplag. Copenhagen: European Environment Agency, 2010. ISBN 978-929-2131-685.
- [2] ŘEZÁČOVÁ, D. – SOKOL, Z. – PEŠICE, P.: *Deterministické a statistické odhady pravděpodobné maximální srážky pro území České republiky*. In „Vývoj metod pro odhad extrémních povodní“ – Sborník přednášek ze semináře k výsledkům grantového projektu VaV/510/97, 23.4. 2001, Praha. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 2001. s. 24–35.
- [3] OTIPKA, Petr a Vladislav ŠMAJSTRLA. *Pravděpodobnost a statistika*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006, 266 s. ISBN 80-248-1194-4.
- [4] GAÁL, Ladislav. *Metódy výpočtu štatistických charakteristik návrhových hodnôt úhrnov zrážok na Slovensku*. Vyd. 1. Ostrava: Key Publishing, 2009, 224 s. ISBN 978-80-7418-047-7.
- [5] ANDĚL, Jiří. *Základy matematické statistiky*. 2., opr. vyd. Praha: Matfyzpress, 2007. ISBN 978-80-7378-001-2.
- [6] KYSELÝ, Jan. *Odhad parametrů rozdělení extrémních hodnot metodou L momentů Meteorologické zprávy*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2005, 358 s. 58, 6. ISBN 0026 – 1173.
- [7] COLES, Stuart. *An Introduction to Statistical Modeling of Exterme Values*. 3rd. edition. London, Great Britain: Springer-Verlag, 2004. ISBN 1-85233-459-2.

- [8] KYSELÝ, JAN ; PICEK, J. Regional growth curves and improved design value estimates of extreme precipitation events in the Czech Republic. *Climate Research*. 2007, roč. 33, č. 3, s. 243-255. ISSN 0936-577X. Dostupný z: <<http://www.int-res.com/articles/cr2007/33/c033p243.pdf> <http://www.int-res.com/articles/cr2007/33/c033p243.pdf>>
- [9] EFRON, B. Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. *The Annals of Statistics*. 1979, vol. 7, issue 1, s. 1-26. DOI: 10.1214/aos/1176344552. Dostupné z: <http://projecteuclid.org/euclid.aos/1176344552>
- [10] EFRON, Bradley a Robert TIBSHIRANI. *A introduction to the bootstrap*. Boca Raton: Chapman, c1994, xvi, 436 s. ISBN 04-120-4231-2.
- [11] VOSE, D.: Risk Analysis: A Quantitative Guide. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2008. 735 s. ISBN 978-0-470-51284-5
- [12] UN Data: Czech Republic. [online]. [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: <http://data.un.org/CountryProfile.aspx?crName=Czech%20Republic#Summary>
- [13] Portál veřejné správy: Informace o České republice. [online]. [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: <https://portal.gov.cz/portal/ovm/odkazy/infoCR.html>
- [14] *Atlas podnebí Česka* [CD]. 2007. Praha, Olomouc: Český hydrometeorologický ústav : Univerzita Palackého v Olomouci, 2007[cit. 2014-02-02]
- [15] Wladimir Koppen. In: RUMNEY, George Richard. *Encyclopædia Britannica* [online]. Encyclopædia Britannica Inc., 2012 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/322065/Wladimir-Koppen>

- [16] Precipitation. In *American Meteorological Society Glossary of Meteorology* [online]. 2012 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: <http://amsglossary.allenpress.com/glossary/search?id=precipitation1>
- [17] KAKOS, V. Hydrometeorologická charakteristika povodní na území ČSR. *VTEI* 20(4), 1978, s. 127-131.
- [18] BRÁZDIL, Rudolf. Meteorologické extrémy a povodně v České republice - přirozený trend nebo následek globálního oteplování? *Geografie - Sborník České geografické společnosti*, Praha: Česká geografická společnost, 2002, roč. 107, č. 4, s. 349-370. ISSN 1212-0014.
- [19] ŠTEKL, Josef. Extrémní denní srážkové úhrny na území České republiky v období 1879-2000 a jejich synoptické příčiny. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 128 s., 21 příl. Národní klimatický program Česká republika, sv. 31. ISBN 80-858-1392-0.
- [20] KRŠKA, K., 1999. Historie hydrometeorologické služby na území někdejšího Československa. *Meteorologické Zprávy*, roč. 52, č. 6, s. 161-164
- [21] Hydrológia - terminologický výkladový slovník. Vyd. 1. Bratislava : Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 2002. 157 s.
- [22] KVĚTOŇ, V., P. ZAHRADNÍČEK a M. ŽÁK. Kontrola kvality a digitalizace ombrogramů v ČHMÚ: *Meteorological Bulletin. Meteorologické zprávy*. 2004, č. 57. DOI: 0026-1173.

Přílohy

Příloha A; Tabulka odhadů parametrů tvaru, metoda MLE

Příloha B; Tabulka odhadů parametrů tvaru, metoda LMOM

Příloha C; Mapa ČR s hydrometeorologickými stanicemi, ze kterých byla čerpána data pro tuto práci (autorem mapy je Mgr. Aleš Urban, podkladová mapa: Digitální model reliéfu ČR od ArcČR Praha)

Název stanice	Počet let měření	Odhad parametru tvaru pro dané agregace						
		30M	1H	2H	3H	6H	12H	24H
Bedřichov	19	-0,451	-0,436	-0,178	-0,116	0,074	0,403	0,438
Brno, Tuřany	48	0,102	0,068	0,184	0,139	0,130	0,083	0,129
Brno, Žabovřesky	25	-0,016	0,040	0,128	0,000	-0,113	-0,259	-0,057
Červená	50	-0,083	-0,200	-0,127	0,101	0,143	0,147	-0,019
Desná, Souš	45	0,163	0,253	0,126	0,031	0,074	0,257	0,367
Deštné v Orlických horách	30	-0,044	0,082	0,290	0,222	0,158	0,212	0,285
Doksany	52	0,134	0,132	0,008	-0,058	-0,175	-0,094	0,015
Doksy	46	0,093	-0,039	-0,014	-0,054	-0,119	-0,154	0,098
Dukovany	17	0,067	0,203	0,188	0,057	0,038	0,361	0,297
Holešov	18	0,184	0,313	0,283	0,401	0,304	0,344	0,249
Hradec Králové	46	0,193	0,230	0,222	0,202	0,410	0,195	0,140
Cheb	46	0,118	0,093	0,023	0,075	0,127	0,001	0,047
Churáňov	42	0,183	0,312	0,115	0,118	0,050	0,150	0,271
Karlovy Vary, Olšová Vrata	21	0,003	-0,059	0,089	0,167	0,089	0,043	0,176
Klatovy	22	0,589	0,554	0,480	0,425	0,414	0,335	0,322
Kocelovice	36	0,436	0,460	0,446	0,381	0,421	0,283	0,287
Konstantinovy Lázně	27	-0,192	0,029	0,101	0,114	0,097	0,076	0,098
Kopisty	25	0,186	0,276	0,051	0,063	0,055	0,069	-0,189
Kostelní Myslová	49	0,096	0,100	0,130	0,230	0,305	0,257	0,132
Kralovice	26	-0,024	0,063	0,114	0,165	0,452	0,357	0,365
Krásné Údolí	25	-0,240	0,123	0,167	0,310	0,090	-0,091	-0,028
Kuchařovice	36	0,195	0,241	0,339	0,382	0,284	0,080	-0,002
Liberec	41	0,255	0,321	0,287	0,314	0,207	0,187	0,368
Lučina	36	-0,129	0,101	0,070	0,044	-0,196	-0,267	0,066
Luká	20	-1,035	-0,027	0,081	0,136	0,135	0,067	0,036
Nedvězí	21	0,293	0,448	0,353	0,168	0,130	-0,030	0,022
Neumětely	29	-0,047	-0,145	-0,024	0,040	0,136	0,179	0,378
Nová Ves v Horách	21	-0,166	-0,106	0,082	0,070	0,117	0,178	0,269
Nový Rychnov	25	-0,042	-0,214	0,095	-0,056	-0,144	-0,261	0,055
Olomouc, Holice	31	-0,142	-0,040	-0,030	0,179	-0,092	0,067	-0,023
Ondřejov	25	-0,210	0,016	0,162	0,168	0,172	0,207	0,154
Ostrava, Poruba	21	0,197	0,263	0,341	0,329	0,422	0,182	0,048
Plzeň, Bolevec	27	0,152	0,127	0,174	0,160	0,212	0,167	0,190
Praha, Karlův	24	-0,050	-0,264	-0,145	-0,145	-0,262	-0,284	-0,385
Praha, Libuš	33	0,070	0,134	0,108	0,092	-0,003	0,012	0,184
Přibyslav, Hřiště	43	0,149	0,195	0,157	0,112	0,126	0,100	0,275
Přimda	47	0,097	0,119	0,122	0,088	-0,038	-0,195	-0,047
Rokytnice v Orlic, horách	20	-0,033	-0,163	-0,116	-0,307	-0,222	-0,221	-0,354
Rychnov nad Kněžnou	20	0,287	0,295	0,334	0,299	0,291	0,200	0,042
Smolnice	21	0,019	-0,092	-0,079	0,087	-0,050	-0,126	-0,011
Staňkov	20	0,090	0,280	0,197	0,300	0,674	0,090	-0,021
Strání	37	0,004	-0,098	-0,185	-0,103	-0,113	-0,120	-0,170
Svratouch	55	0,157	0,177	0,082	0,054	-0,062	-0,058	0,109
Tábor, Náchod	88	0,059	0,229	0,140	0,053	0,028	0,040	0,029
Temelín	21	0,227	0,206	1,046	0,519	0,086	0,200	0,300
Teplice	21	-0,026	0,183	-0,072	-0,032	0,344	0,146	0,136
Ústí nad Labem, Kočkov	24	0,078	0,063	-0,146	-0,214	-0,041	0,017	-0,030
Ústí nad Orlicí	28	0,108	0,128	0,073	0,094	-0,054	-0,148	-0,245
Varnsdorf	48	0,074	-0,012	-0,016	0,002	-0,047	0,067	0,026
Velichovky	17	0,190	0,399	0,105	-0,116	-0,048	-0,198	-0,207
Velké Meziříčí	51	0,114	0,020	0,026	-0,064	-0,085	-0,154	-0,095
Vizovice	45	0,070	0,060	0,036	0,004	0,046	-0,072	-0,165
Vyšší Brod	37	0,263	0,626	0,958	0,682	0,474	0,248	0,142
Žatec	25	0,073	0,083	0,072	0,090	0,126	0,250	0,374

Příloha A; Tabulka velikostí odhadů parametrů tvaru, metoda MLE

Název stanice	Počet let měření	Odhad parametru tvaru pro dané agregace						
		30M	1H	2H	3H	6H	12H	24H
Bedřichov	19	-0,322	-0,260	-0,206	0,070	0,090	0,310	0,285
Brno, Tuřany	48	0,140	0,110	0,254	0,250	0,259	0,105	0,068
Brno, Žabovřesky	25	0,007	0,071	0,095	-0,010	-0,087	-0,180	-0,065
Červená	50	-0,158	-0,214	0,145	0,089	0,166	0,132	-0,011
Desná, Souš	45	0,165	0,200	0,085	-0,040	0,063	0,299	0,337
Deštné v Orlických horách	30	-0,017	0,074	0,244	0,273	0,205	0,294	0,266
Doksany	52	0,058	0,092	0,013	-0,047	-0,120	-0,068	0,044
Doksy	46	0,212	0,043	0,012	-0,034	-0,110	-0,141	0,040
Dukovany	17	0,100	0,143	0,228	0,130	0,044	0,128	0,290
Holešov	18	0,284	0,372	0,450	0,496	0,386	0,352	0,236
Hradec Králové	46	0,024	0,153	0,225	0,214	0,296	0,219	0,141
Cheb	46	0,078	0,002	-0,006	0,049	0,105	-0,010	0,057
Churáňov	42	0,224	0,155	0,017	0,020	0,012	0,126	0,219
Karlovy Vary, Olšová Vrata	21	-0,030	-0,065	0,134	0,131	0,047	0,005	0,145
Klatovy	22	0,299	0,312	0,330	0,320	0,268	0,250	0,136
Kocelovice	36	0,324	0,339	0,342	0,378	0,412	0,271	0,220
Konstantinovy Lázně	27	-0,196	0,007	0,067	0,123	0,118	0,155	0,166
Kopisty	25	0,098	0,149	0,038	0,036	0,046	0,070	-0,173
Kostelní Myslová	49	0,019	0,039	0,052	0,135	0,207	0,204	0,102
Kralovice	26	-0,016	0,057	0,158	0,228	0,356	0,341	0,392
Krásné Údolí	25	-0,203	0,047	0,102	0,154	0,048	-0,088	-0,059
Kuchařovice	36	0,176	0,254	0,276	0,183	0,097	0,082	0,023
Liberec	41	0,240	0,238	0,224	0,166	0,125	0,129	0,187
Lučina	36	-0,133	0,036	0,017	-0,008	-0,187	-0,262	-0,018
Luká	20	-0,328	-0,016	0,182	0,274	0,178	0,130	0,098
Nedvězí	21	0,174	0,326	0,275	0,155	0,104	-0,006	0,114
Neumětely	29	-0,048	-0,128	-0,112	-0,035	0,092	0,186	0,315
Nová Ves v Horách	21	-0,163	-0,117	0,137	0,168	0,226	0,298	0,481
Nový Rychnov	25	-0,058	-0,184	-0,011	-0,058	-0,185	-0,319	0,043
Olomouc, Holice	31	-0,130	-0,049	-0,077	0,040	-0,066	0,016	0,062
Ondřejov	25	-0,093	0,158	0,354	0,415	0,303	0,242	0,143
Ostrava, Poruba	21	0,261	0,379	0,405	0,305	0,279	0,115	0,083
Plzeň, Bolevec	27	0,126	0,115	0,104	0,102	0,172	0,241	0,274
Praha, Karlův	24	-0,031	-0,319	-0,205	-0,139	-0,200	-0,195	-0,261
Praha, Libuš	33	0,141	0,188	0,197	0,140	0,049	0,017	0,156
Přibyslav, Hřiště	43	0,099	0,101	0,093	0,088	0,128	0,075	0,136
Přimda	47	0,156	0,116	0,067	0,025	-0,053	-0,208	0,078
Rokytnice v Orlic, horách	20	-0,031	-0,130	-0,105	-0,254	-0,201	-0,171	-0,206
Rychnov nad Kněžnou	20	0,402	0,296	0,341	0,291	0,283	0,249	0,060
Smolnice	21	0,016	-0,070	-0,061	0,073	-0,067	-0,119	-0,009
Staňkov	20	0,200	0,197	0,239	0,277	0,159	0,112	0,002
Strání	37	-0,019	-0,118	-0,153	-0,116	-0,128	-0,103	-0,212
Svratouch	55	0,090	0,087	0,026	0,007	-0,082	-0,080	0,088
Tábor, Náchod	88	0,010	0,088	0,116	0,071	0,038	0,047	0,001
Temelín	21	0,165	0,118	0,142	0,124	0,005	0,146	0,328
Teplice	21	-0,071	0,046	-0,053	-0,004	0,115	0,107	0,183
Ústí nad Labem, Kočkov	24	0,020	0,024	-0,127	-0,159	-0,052	-0,006	0,023
Ústí nad Orlicí	28	0,080	0,159	0,030	0,049	-0,055	-0,181	-0,202
Varnsdorf	48	0,086	-0,006	-0,013	0,028	0,007	0,065	0,017
Velichovky	17	0,134	0,091	-0,002	-0,107	-0,072	-0,162	-0,192
Velké Meziříčí	51	0,069	-0,011	-0,014	-0,077	-0,087	-0,143	-0,144
Vizovice	45	0,113	0,055	0,045	0,014	0,041	-0,091	-0,177
Vyšší Brod	37	0,247	0,355	0,367	0,418	0,372	0,221	0,110
Žatec	25	0,043	0,075	0,085	0,136	0,152	0,158	0,216

Příloha B; Tabulka velikostí odhadů parametrů tvaru, metoda LMOM

